中空構造チタンコネクティングロッドの開発

Development of Hollow Titanium Connecting Rod

湊　　定　美*　　溝　川　　謙*
Sadami MINATO　　Ken MIZOGAWA

要　旨

F1エンジンの高回転高出力化にはレシプロマス低減が重要である．そこでコネクティングロッドのかん部断面係数を上げ剛性を確保しつつ軽量化することを目的として，拡散接合法を最適化し，中空構造化するプロセスを開発した．これにより従来の鍛造製法によるＩ型断面に対して軽量化と高剛性化を達成し，エンジン高回転化に貢献した．

ABSTRACT

It is necessary to reduce the reciprocating mass in order to increase the engine speed and power of Formula One engines. The project discussed in this paper therefore set out to increase the section modulus of the shaft of the connecting rod while maintaining its rigidity and achieving weight savings. To this end, the diffusion bonding method was optimized, and a process of manufacturing a hollow connecting rod was developed. The developed connecting rod is lighter in weight and higher in rigidity than a rod with a conventional I-type section produced by forging, and has contributed to enabling engines to be increased in speed.

１．まえがき

F1コネクティングロッド（以下コンロッド）は高回転高出力のエンジンを支える主運動系部品として軽量かつ高強度で高剛性であることが常に要求され，比強度に優れるチタン合金が使用される．2000年には従来のTi6Al4V合金に比べ25%疲労強度に優れるβリッチα＋β型SP-700チタン合金[1]を採用して軽量化を果たしたが，さらなる軽量化要求に対して単純な材料高強度化のみでは剛性設計の限界に近づき，新たな技術ブレークスルーが必要となった．

そこで形状剛性を維持した軽量化手法としてコンロッドの中空構造化を検討した．

２．開発技術

2.1. 中空化手法の検討

コンロッドの中空構造化手法として各種方案を検討した．例えば電解または機械加工で大端側から中空かん部を形成し，その後電子ビーム溶接（EBW）で蓋溶接して中空構造とする方案では接合部強度の課題を解決できなかった．また鋳造やロウ付けも強度低下の課題があった．

一方，航空機タービン等で実施例のある拡散接合は固相拡散による接合のため母材熱影響がない．また酸素固溶限の高いチタンは表面の酸化皮膜が容易に拡散消失するため本手法に適していることに着目し，これに絞った部品製法の検討を進めた．

2.2. 拡散接合メカニズム

拡散接合は真空または還元ガス雰囲気下で被接合体を0.7Tm（Tm= 融点）以上の温度に保持し，同時に加圧することで拡散現象を促進し接合する手法である．Fig. 1に拡散プロセスモデル[2]を示す．まずプロセスの初期段階で接合面の凹凸が加圧加熱により変形密着する．次に拡散により界

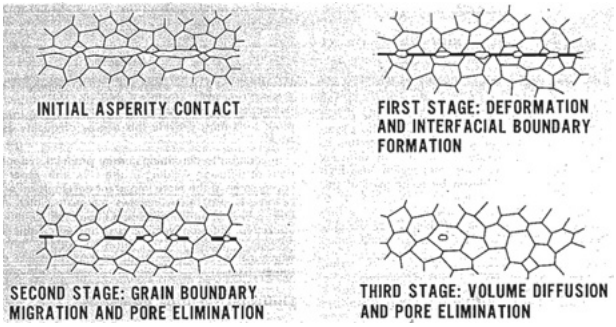

Fig. 1　Model of diffusion bonding process

＊四輪R&Dセンター

面の結晶粒界が移動し空孔が消失する．最終段階では残った空孔も体積拡散で消失して接合が終了する．Fig. 2に本開発で得られた実体コンロッドの接合部組織を示す．接合界面の凹凸が残らない連続的な金属組織が得られている．

2.3. コンロッド接合プロセス

コンロッドは所定の強度を得るためβ変態点(870 ℃)以下で溶体化時効処理されるため，接合温度は溶体化温度の830 ℃とした．また最大加圧力は4.0 MPa，拡散保持時間は5.0 hr に設定した．なお拡散接合には 16 軸の個別荷重制御が可能な(株)金属技研所有のホットプレス真空炉を使用した．

中空コンロッドの製造工程を Fig. 3 に示す．圧延板材をウォータジェットで荒型抜きした後，かん部中空部を仕上げた半割りブランクに加工する．これを重ね合せて拡散接合する方案とした．

接合時の相対ずれ量は大端部および小端部に設けたノックにより，標準偏差の上限で 0.13 mm 以内を確保した．また厚さ方向のつぶし量はホットプレス時のカーボン製ストッパ治具の高さにより，初期板厚の４%に設定した．

また被接合体の表面粗度および清浄度は接合部の機械特性に影響するため，Fig. 4に示す二種類の継ぎ手方案で接合した引張り試験片を用いてこれらの影響度合いを検証した．Fig. 5に接合面粗度違いでの引張り特性を示す．接合面粗度は特にＴ方向継ぎ手の伸び，絞りに影響することから，母材と同等の特性が得られる Rt 1.6 以下とした．

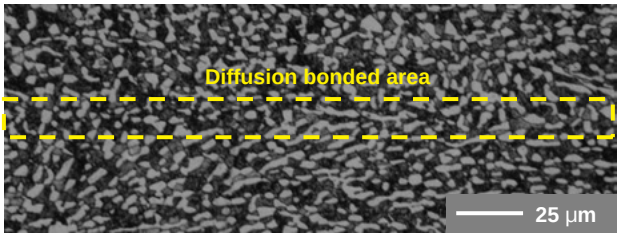

Fig. 2　Microstructure of diffusion bonded area of connecting rod

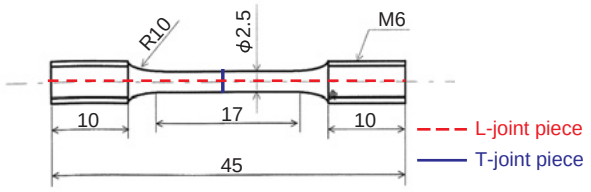

Fig. 4　Diffusion bonded tensile test piece

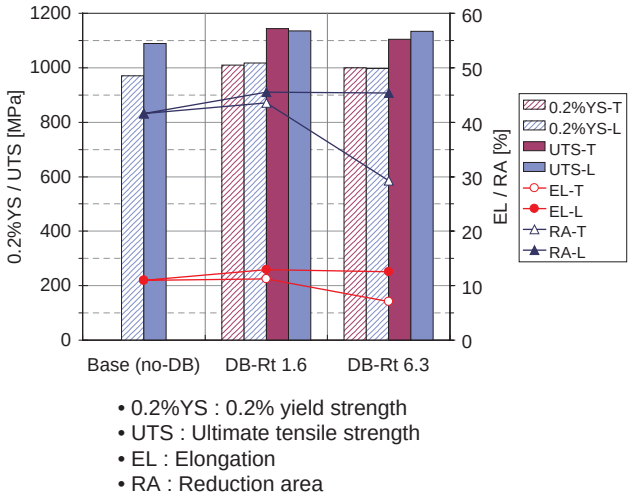

Fig. 5　Effect of surface roughness on tensile properties of diffusion bonded test piece

３．性能効果

Fig. 6 に示すように，コンロッド厚み中央部に接合面を持つ中空構造を採用した．これによりかん部断面係数を向上させながら肉厚をミニマム化し，従来のＩ型断面に対し８%の軽量化と，かん部で 2.5 倍，大端円環部で 18%の剛性向上を果たした．また実機耐久テストにおいてコンロッドベアリング負荷が低減されたことにより，250 rpm の高回転化を確認した．

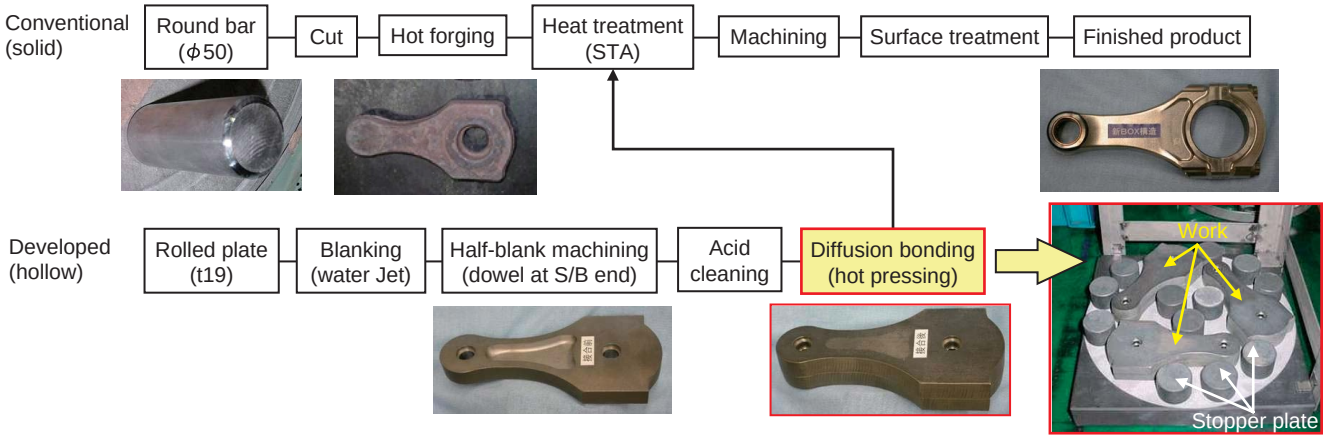

Fig. 3　Developed process of manufacture of hollow connecting rod

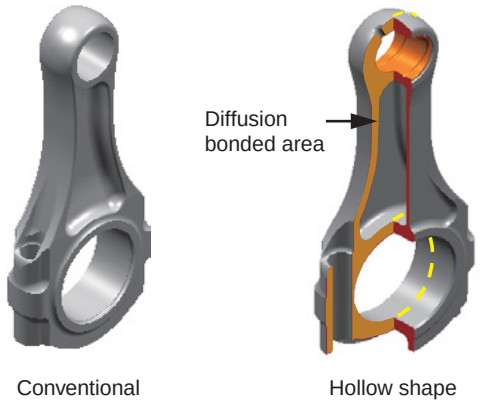

Fig. 6 Comparison of conventional and hollow conrod

4．まとめ

拡散接合を用いた中空構造コンロッドの製造方法を確立した．これによる軽量化でエンジンの高回転高出力化を達成し，2003 年にレース投入した．

参考文献

(1) Ouchi, C., Minakawa, K., Takahashi, K., Ogawa, A., Ishikawa, M. : Development of β -rich α + β Titanium Alloy SP-700, NKK Technical Review, No. 65, p.61-67 (1992)

(2) Owczarski, W. A., Paulonis, D. F. : Application of Diffusion Welding in the USA, Welding Journal, Vol. 60, No. 2, p.22-33(1981)

■著　者■

湊　定美　　溝川　謙